CAIP´2019

14° Congreso Interamericano de Computación Aplicada a la Industria de Procesos

Trabajos Completos

21 al 24 de Octubre del 2019
Lima

Rosendo Franco
Gerardo Cabrera
Editores





CAIP’2019
14° Congreso Interamericano de Computación Aplicada a la Industria de Procesos

Trabajos Completos

Primera edición digital: Octubre del 2019

Rosendo Franco
Gerardo Cabrera
Editores

Departamento Académico de Ingeniería
Sección Ingeniería Mecánica
Av. Universitaria 1801, Lima 32, Perú
Teléfono: (51 1) 626-2000

http://congreso.pucp.edu.pe/caip2019/sobre-el-evento/actas/

ISBN: 978-612-48025-3-9

SECCIÓN 9

Medio Ambiente y Recursos Naturales

Exposición y Regulación de la Radiación Electromagnética No Ionizante: Un problema de Salud Pública Mundial

Leonardo Soto-Sumuano[1], Emmanuel Abundis-Gutiérrez[2] y José A. Tlacuilo-Parra[3]
(1) Depto. de Sistemas de Información, Universidad de Guadalajara, Zapopan Jalisco-México
(2) Sociedad Mexicana para la Protección de la Radiación No ionizante, Zapopan Jalisco-México
(3) Instituto Mexicano del Seguro Social UMAE Hospital de Pediatría CMNO, Guadalajara Jalisco-México
E-mail: leonardo.lsoto@gmail.com

Resumen

La Organización Mundial de la Salud clasifica como posible carcinógeno para los humanos la exposición a la radiación electromagnética no ionizante (REM). A consecuencia de ello hubo un incremento a nivel mundial de actividades científicas, sociales y de gobierno para estudiar estas emisiones y encontrar medidas preventivas que permitan reducir la exposición a la población en general. México, tiene la oportunidad de actualizar y generar nuevas Normas Oficiales Mexicanas (NOM), que permitan por una parte regular los niveles máximos permitidos de REM y por la otra realizar vigilancia y control de los efectos a la salud.
El presente artículo aborda las características de la REM, analiza el marco regulatorio ambiental internacional y nacional, presenta los resultados obtenidos de la medición de REM en ELF/LF y RF intra-domiciliaria de pacientes pediátricos con leucemia aguda en el área metropolitana de Guadalajara y por último propone una serie de recomendaciones y acciones.

Palabras clave Contaminación Electromagnética, Frecuencias Extremadamente Baja, Radio Frecuencia, NOM, LLA.

Exposure and Regulation of Non-Ionizing Electromagnetic Radiation: A World Public Health Problem

Abstract

World Health Organization has recognized non-ionizing electromagnetic radiation (NIR) exposure within the group "2B", possible human carcinogens. As a result, there was a worldwide increase in scientific, social and government activities to study these emissions and find preventive measures to reduce exposure to the general population. Mexico, faced with this scenario, has the opportunity to update and generate new Official Mexican Standards (NOM), which would allow, on one hand, the regulation of the maximum permitted levels of NIR and, on the other hand, to monitor and control the health effects. This article addresses the characteristics of NIR, analyzes the international and national environmental regulatory framework, presents the results obtained from the measurement of NIR in ELF and intra-domiciliary RF of pediatric patients with acute leukemia in the metropolitan area of Guadalajara and finally, it proposes a series of recommendations and actions.

Keywords: public health, electromagnetic pollution, extremely low frequency, radio frequency, mexican official standard

INTRODUCCIÓN

La radiación electromagnética (REM) es la propagación de energía en forma de ondas electromagnéticas a través del vacío o de un medio material a la velocidad de la luz. Se clasifica en ionizante y no ionizante, la característica principal de la radiación ionizante es poseer suficiente energía para ionizar la materia al situarse en un rango de frecuencia elevado. Por su parte, la radiación no ionizante no lleva asociada energía suficiente para producir el proceso de ionización al no generar iones y sus efectos térmicos solo son percibidos por el ser humano en el rango de las microondas (IARC, 2011).

Esto no significa que la radiación no ionizante no pueda tener efectos negativos en la salud. En el año 2002 la agencia internacional de investigación sobre el cáncer (IARC) evaluó los riesgos de la radiación no ionizante en el rango de frecuencias extremadamente baja, clasificándola como un agente posiblemente carcinogénico para el ser humano Grupo "2B" (IARC, 2002). Posteriormente, en 2011 la misma IARC evaluó el riesgo de cáncer asociado a la exposición a radiación no ionizante en el rango de radiofrecuencias (RF), siendo catalogada de igual manera como posible carcinogénico "2B" (IARC, 2011) (Fig.1). Estas declaraciones han generado en el mundo médico una gran preocupación por los efectos a la salud que pudiese causar el aumento de exposición a radiación no ionizante, a la que sin lugar a duda, todos los seres humanos estamos expuestos por el desarrollo exponencial de nuevos dispositivos y servicios de acceso inalámbrico de uso común. Considerándose como una de las posibles razones de la aparición temprana de enfermedades y trastornos a la salud de los niños (Kundi, 2012).

La REM que ocupa el interés en este trabajo son las frecuencias donde se ubican las aplicaciones y servicios más utilizados por el ser humano. Específicamente la radiación de frecuencia extremadamente baja (ELF/LF) cuyo rango va de 3 Hz a 300 KHz y en radiofrecuencia (RF) cuyo rango va de 300 KHz a 3 GHz donde se incluyen las microondas (IEEE, 1992), (Fig. 1).

Al conjunto de REM no ionizante generada ya sea por la infraestructura eléctrica y de telecomunicaciones, equipos de uso doméstico e industrial o por el uso masivo de nuevas aplicaciones inalámbricas que puede afectar al cuerpo humano se le ha denominado "Contaminación Ambiental Electromagnética" o "Electropolución". Este tipo de contaminación es reconocida como un contaminante en la Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección Ambiental (LGEEPA) que obliga a la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMANART) a emitir Normas Oficiales Mexicanas (NOM) para controlar su emisión (LGEEPA, 2017).

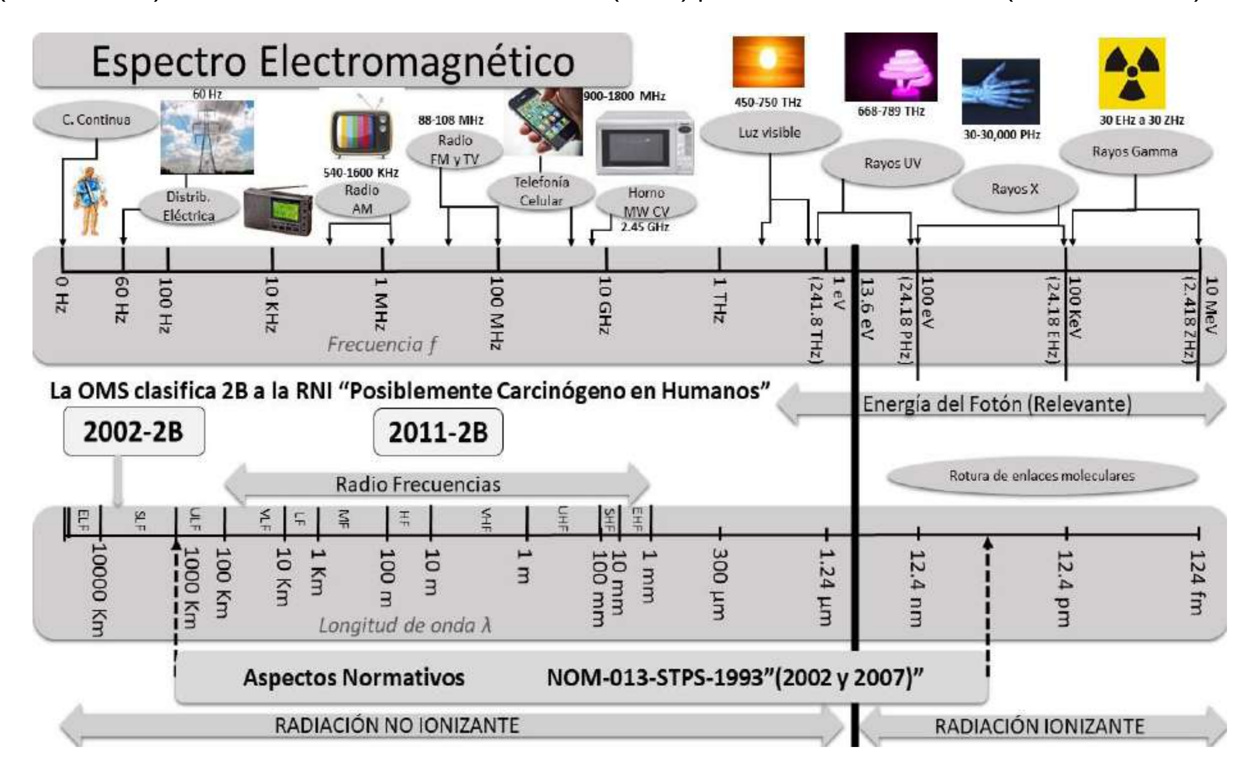


Fig.1 Espectro Electromagnético clasificado por servicios, rangos de frecuencia, longitud de onda y radiaciones

LEUCEMIA

La leucemia es una enfermedad caracterizada por detención en la maduración de las células encargadas de la formación de los constituyentes de la sangre, con una proliferación y crecimiento descontrolado de células sanguíneas inmaduras. Esta proliferación se origina a nivel de la médula ósea, a partir de la cual se disemina a la sangre y los distintos tejidos.

La leucemia es el tipo más común de cáncer infantil, representa el 30% de todos los cánceres diagnosticados en niños menores de 15 años, de ellos la Leucemia Linfoblástica Aguda (LLA) es aproximadamente cinco veces más frecuente que la Leucemia Mieloide Aguda (LMA) y representa aproximadamente el 78% de todos los diagnósticos de leucemia infantil (Ferlay et al., 2012).

En 1965, Ager y cols., (Ager et al., 1965) publicaron la posible asociación entre leucemia aguda (LA) infantil y la influencia de factores ambientales. Desde entonces un incremento en la incidencia de casos de leucemia infantil ha sido informado en Europa, Estados Unidos y México, lo cual se ha hecho evidente mediante la identificación de patrones de agrupación de los casos, asociados con componentes etiológicos ambientales (Draper G. et al., 2005), (McNally RJ et al., 2006), (Tlacuilo-Parra et al., 2017).

La incidencia anual de la leucemia infantil durante 2003 se estimó en 4/100,000 habitantes según la OMS. Un estudio realizado en Ciudad de México durante el período 2006-2007, informó una tasa de incidencia anual (TIA) de 5.76 casos/100,000 habitantes, siendo la LLA el tipo más frecuente con el 85.1% de los casos (TIA: 4.95/100,000), seguido de la LMA con el 12.3% (TIA: 0.69/100,000) (Pérez-Saldivar et al., 2011). De manera similar un estudio realizado en el área metropolitana de Guadalajara en 2015 demostró una incidencia global de leucemia infantil de 6.44 casos/100,000 habitantes. La tasa más alta se observó en el municipio de El Salto, con 10.12 casos/100,000 habitantes, seguido de Guadalajara con 7.55/100,000 habitantes y Tlaquepaque con 6.74 casos/100,000 habitantes (Soto-Sumuano et al., 2016), (Tlacuilo-Parra et al., 2017).

RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA Y LEUCEMIA

Los primeros trabajos sobre la asociación entre la REM y leucemia aparecen en 1930, cuando se detecta un incremento en la tasa de incidencia anual de leucemia en todos los estados donde se había introducido la electricidad en más del 75% de las residencias. Para 1950 la incidencia elevada se mantenía en todos los estados, pero era más pronunciada en aquellos con un mayor porcentaje de contactos intra-domiciliarios a la red eléctrica. Según Milham y Ossiander, la asociación de leucemia con urbanización, modernización e industrialización puede ser explicada por el incremento en la electrificación (Milham S et al., 2001). Koifman sugirió en 1993 que la REM podía ser carcinogénica (Koifman, 1993) esta propuesta fue apoyada por los hallazgos de la publicación “Estudio de Investigación del cáncer infantil en Reino Unido” (UKCCS) de 1999 (UKCCS, 1999). Sin embargo es hasta después de la publicación del análisis agrupado de Ahlbom y cols. y Greenland y cols., del año 2000 (Greenland et al., 2000) cuando la IARC comenzó a considerar a la REM de LF/ELF como posibles carcinógenos. Los estudios mencionados refieren un incremento del riesgo de contraer leucemia pediátrica cuando los niveles de radiación en LF y ELF son mayores a 0.3 µT (Calvente et al., 2010), (Kundi, 2012).

Considerando el estudio realizado en Guadalajara (Tlacuilo-Parra et al., 2017) en donde se demostró la presencia de focos de agrupación geográfica de niños con LA, el IMSS propuso realizar un estudio en su Hospital de Pediatría del Centro Médico Nacional de Occidente y el Nuevo Hospital Civil de Guadalajara, con la finalidad de determinar el nivel de exposición a radiación electromagnética en los rangos de LF/ELF y RF intra-domiciliaria de niños con leucemia y proponer un plan de prevención y observación de dicha radiación.

METODOLOGÍA

Se incluyeron pacientes con diagnóstico de LA infantil atendidos en el Hospital de Pediatría del Centro Médico Nacional de Occidente (CMNO) perteneciente al Instituto Mexicano del Seguro Social y del Nuevo Hospital Civil de la Universidad de Guadalajara que habitaron en la zona metropolitana de Guadalajara, durante el periodo 2013-2016.

El paciente incluido en el estudio debía cumplir con los criterios siguientes: ser menor de 16 años, viviendo en la zona metropolitana en la misma casa al menos por un año antes del diagnóstico, el diagnóstico de leucemia aguda tenía que ser confirmado por aspiración de médula ósea, así como caracterización del inmunofenotipo y haber sido tratado en cualquiera de los hospitales durante el período del estudio.

De los 84 casos elegibles el 4% rechazaron el estudio, pero 96% entraron con éxito. Se identificó mediante encuesta las fuentes de RNI divididas en fuentes extra-domiciliarias e intra-domiciliarias, se acudió al domicilio del paciente para medir los niveles de radiación en baja y extremadamente baja frecuencia (LF/ELF), así como en radiofrecuencia (RF).

Las mediciones se realizaron dentro de las casas de los pacientes en su cama donde pasan 8 horas continuas, se utilizó:

Equipo portable HI-3604 medidor ETS-Lindgren para medir la intensidad de campo magnético en µT (microTeslas) en el rango de las frecuencias en LF/ELF, con antena sintonizada a 60 Hz y equipo portable HI-2200 para mediciones de RF de intensidad de campo eléctrico en Volts/m y densidad de potencia en W/m2, con antena para un rango de frecuencias desde los 100 Khz hasta los 5 Ghz.

La medición se realizó bajo el protocolo recomendado por la ICNIRP, y el proyecto de investigación fue aprobado por los comités de ética e investigación de los hospitales participantes. En un periodo de 12 meses, se visitó el domicilio de los pacientes hasta en 4 ocasiones para corroborar datos y minimizar cualquier posible error de medición. Para la estadística descriptiva se emplearon valores como el promedio, mediana y desviación estándar. Para la estadística inferencial se empleó la prueba T student para comparar promedios entre hospitales y la prueba Chi-cuadrada para comparar variables cualitativas.

RESULTADOS

Los resultados de la investigación incluyen el análisis se incluyeron 80 pacientes; diagnóstico de leucemia aguda linfoblástica (LLA) en 72 (90%) y 8 (10%) con leucemia mieloblástica aguda, 43 masculinos (54%), edad al diagnóstico 6 ± 4 años, tiempo viviendo en el domicilio 11 ± 9 años. Las fuentes extra-domiciliarias identificadas como emisoras de RNI fueron: antena telefonía celular (57%), torre alta tensión (41%) y transformador eléctrico (16%), mientras que las fuentes intra-domiciliarias identificadas fueron: televisión (100%), internet inalámbrico (67%), microondas (62%), teléfono celular (49%).

El nivel de exposición promedio para baja frecuencia (LF/ELF) en las camas de los pacientes fue de 0.25 ± 0.35 µT (mediana 0.09 µT), en el 32% de los casos se encontraron niveles superiores al punto de corte recomendado. No hubo diferencias significativas entre el promedio y las medianas obtenida de las casas, entre los pacientes de ambos hospitales 0.28 ± 0.37 µT (mediana 0.13 µT) vs 0.19 ± 0.28 µT (mediana 0.08 µT) (p=0.251). Cuando se categorizó en grupos para valores ≥ 0.3 µT, el 32% (26 casos) de las mediciones fueron valores más altos que el nivel de referencia y aún más el 5% de los casos obtuvo valores mayor a 1.0 µT.

Para las mediciones en el rango de RF, el nivel de exposición promedio fue de 0.142 ± 10.3 W/m2 (mediana 0.54 W/m2), en el 35% de los casos se encontraron niveles superiores al punto de corte recomendado de 0.1 W/m2. No hubo diferencias significativas entre el promedio y las medianas obtenida de las casas, entre los pacientes de ambos hospitales 0.075 ± 0.37 W/m2 (mediana 0.04 W/m2) vs 0.17 ± 0.28 W/m2 (mediana 0.05 W/m2) (p=0.583). Es importante señalar que en 11 pacientes (13%) se observó exposición a niveles de radiación no ionizante en ambas frecuencias por arriba de lo permitido.

DISCUSIÓN

Los resultados muestran que un tercio de los niños con leucemia de la zona metropolitana de Guadalajara se encuentran expuestos a niveles altos de radiación en baja frecuencia (LF/ELF) y en radiofrecuencia (RF). De acuerdo a la literatura, los niveles observados de exposición en LF/ELF (corte a 0.3 µT) le confieren un riesgo dos veces mayor para desarrollar leucemia en comparación a un niño no expuesto a dichos niveles de radiación. Se propone como modelo el principio precautorio y se recomiendan acciones prácticas que no generan ningún costo al paciente y que conducen a disminuir la exposición a RNI (Draper, 2005).

El principio de precaución es una política de gestión de riesgos, aplicada en circunstancias con un alto grado de incertidumbre científica, que refleja la necesidad de tomar medidas para un riesgo potencialmente grave sin esperar los resultados de la investigación científica. Para los países de la Unión Europea, el Tratado de Roma establece que "la política comunitaria sobre el medio ambiente se basará en el principio de precaución" (UE, 1957). Un ejemplo reciente de adopción del principio de precaución es la decisión de algunos países europeos y asiáticos de reducir los niveles de densidad de potencia hasta por 200 veces la propuesta por el ICNIRP como es el caso de Suiza, Italia, China y Rusia (UE, 1957). El crecimiento acelerado que ha experimentado la industria de las telecomunicaciones en los últimos años en México ha sido un éxito por su impacto social y económico, colocando al país en un nivel privilegiado en la oferta de servicios. Sin embargo, existe un rezago muy importante

en el control y regulación en los niveles de emisión y exposición de la REM, por lo cual es urgente que las entidades de gobierno involucradas en la salud de la población tomen acciones al respecto.

Se ha descrito que a nivel mundial existe una preocupación sobre el efecto de las radiaciones y su asociación con enfermedades, sin embargo en México sólo existen dos NOM's vigentes, una restringida al ámbito ocupacional (NOM-013-STPS-1993), y otra que propone una metodología para evaluar los riesgos de la población abierta ante agentes contaminantes (NOM-048-SSA1-1993). Hace falta una NOM para la regulación de la exposición al público en general. Solo se cuenta con un anteproyecto de propuesta promovido por la SCT que nunca se concretó (NOM-126-SCT1-SSA1-2012). Así mismo, se debe analizar cabalmente a quién le corresponde el fijar los límites de exposición humana a las REM siendo ésta un riesgo de salud pública y no un factor técnico.

Según lo establecido en la Constitución Política de Estados Unidos Mexicanos (CPEUM) (DOF, 2017), el IFT "…tendrá a su cargo la regulación, promoción y supervisión del uso, aprovechamiento y explotación del espectro radioeléctrico, las redes y la prestación de los servicios de radiodifusión y telecomunicaciones, así como del acceso a infraestructura activa, pasiva y otros insumos esenciales, garantizando lo establecido en los artículos 6o. y 7o. de esta Constitución" Art 28, (DOF, 2017). No es conveniente que un tema tan importante como el descrito en este documento sea encabezado por un organismo cuya prioridad son los proyectos de infraestructura tecnológica en telecomunicaciones (DOF, 2014). Es importante resaltar que no se tiene conocimiento de los niveles de REM a lo que ha estado expuesta la población general y al no existir registros públicos de mediciones realizadas por ningún ente público de salud, ambiental o de telecomunicaciones aumenta la incertidumbre sobre si se han rebasado las recomendaciones internacionales en los últimos 22 años si nos referimos a los límites fijados por la FCC en 1996.

Se ha identificado un gran desconocimiento de la problemática de la REM y de las normas vigentes por parte de las autoridades estatales y municipales. Hasta el momento, los gobiernos municipales sólo se han involucrado en el proceso administrativo y cobro de los permisos de instalación de la estructura donde se colocarán las antenas. Un ejemplo es lo referente a la instalación de infraestructura de telecomunicaciones para la telefonía móvil en uso de suelo vecinal y mixto barrial en Jalisco. En ambos usos de suelo, los servicios de telecomunicaciones no están permitidos (Reglamento Estatal de Zonificación, 2018). Sin embargo, donde sí se permite instalar servicios de telecomunicaciones, existen múltiples instalaciones irregulares, lo que aumenta la posibilidad de una exposición a altos niveles de radiación en espacios sensibles. Una propuesta aquí es la introducción de criterios en la planeación del desarrollo urbano, donde se respete el equilibrio ambiental que propicie una relación armónica de la población con el medio ambiente. Pero debido a la necesidad de acelerar la modernización de las telecomunicaciones, no se contemplaron aspectos regulatorios relativos a los niveles de emisión y exposición a la REM y su posible impacto a la salud.

RECOMENDACIONES

Como se describió anteriormente, el artículo muestra un escenario inquietante de las emisiones de radiación electromagnética no ionizante en México. La falta de normas relativas a los niveles máximos de exposición al público en general, deja un espacio a cubrir si se confirma por la comunidad científica la causalidad de los efectos negativos de la RNI hacia la salud pública. Asimismo, las mediciones hechas en los diferentes domicilios muestran la existencia de valores muy altos de radiación tanto en baja como en alta frecuencia, que nos invita a reflexionar en la posible existencia de un factor asociado a un riesgo mayor de alto impacto, manifestándose la radiación como un contaminante importante.

La ausencia de NOMs permite la inexistencia de auditorías sobre la contaminación ambiental producida por este tipo de radiación, por ello se propone la creación de un órgano certificador independiente del IFT, que vigile el cumplimiento de las nuevas normas. También se propone que se definan nuevas normas tomando en cuenta los niveles de radiación actuales y el crecimiento previsto de infraestructura. Resulta preocupante el incremento en los casos de leucemia aguda en niños en los hospitales de Pediatría del país, donde se desconocen las razones precisas de la causa de esta enfermedad multifactorial. Por lo que, se propone un estudio para medir en todo el país el nivel de exposición en pacientes con enfermedades crónico degenerativas. Para ello se propone utilizar una aplicación desarrollada en el IMSS que asocia contaminantes con leucemia de manera georeferencial denominada SirGeoS (Soto-Sumuano et al., 2017).

Adicionalmente se detecta la falta de un orden urbano, por un lado se encontraron casas muy cerca de fuentes de emisión de alto voltaje (viviendo a menos de 10 mts. de las líneas de alta tensión) o bien habitando en colindancia con los nodos de distribución de energía eléctrica (CFE). Por otro lado en el caso de mástiles (donde se colocan equipos y antenas) se observaron antenas para telefonía celular colocadas sin tener la altura

adecuada, muchas a una altura menor a 5 metros y otras encima de la casa habitación en total desapego con lo referido en las normas internacionales que propone colocarlas al menos a una altura de 15 metros del suelo.

Es importante que se reformen las leyes involucradas a este respecto para que se generen las normas oficiales que den guía y seguridad en el control de las emisiones. Pues su ausencia afecta la salud de la población infantil al permitir la exposición a dosis excesivas de radiación, como consecuencia del crecimiento en la infraestructura radiante. Ante lo cual otros países como Francia, Alemania y Holanda han regulado y disminuido los niveles de exposición permitidos a la sociedad en conjunto (Hernández-Bataller, 2015).
Las reflexiones aquí expresadas pretenden concientizar acerca de la importancia que tiene el desarrollo de las telecomunicaciones, siempre y cuando éste se logre sin afectar al medio ambiente y en consecuencia, a la salud humana.

Por último se recomienda a los organismos gubernamentales, generar campañas de concientización pública sobre el uso de equipos que emitan radiación electromagnética y cuidar la cercanía a fuentes de radiación intensa. Como conclusión general el tema consiste precisamente en encontrar la fórmula para conciliar el crecimiento de las telecomunicaciones sin menoscabo de la salud humana.

REFERENCIAS

Ahlbom A, Day N, Feychting M, Roman E, Skinner J, Dockerty J. 2000. A pooled analysis of magnetic fields and childhood leukaemia. Br J Cancer; 83: 692-698.
Ager EA, Schuman LM, Wallace HM, Rosenfield AB, Gullen WH. An epidemiological study of childhood leukemia. J Chronic Dis 1965; 18: 113-132.
Calvente I, Fernandez MF, Villalba J, Olea N, Nuñez MI. Exposure to electromagnetic fields (non-ionizing radiation) and its relationship with childhood leukemia: A systematic review. Sci Total Environ 2010; 408: 3062-3069.
Cabañas-Cortés, 2017. La exposición a las radiaciones electromagnéticas de origen electromagnético: un problema de salud pública mundial, MedLab 9 (1), 11-24. ISSN 2395-9967
DOF, 2012. Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/dof/indices/dof_index2012.pdf
DOF, 2014 Decreto de la Ley Federal de Telecomunicaciones y Radiodifusión, y la Ley del Sistema Público de Radiodifusión del Estado Mexicano
(en línea) http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5352323&fecha=14/07/2014
DOF, 2018.Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, publicada el 5 de Febrero de 1917. Última reforma publicada el 27-08-2018.
(en línea) http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/1_270818.pdf
Draper G, Vincent T, Kroll ME, Swanson J. Childhood cancer in relation to distance from high voltage power lines in England and Wales: a case-control study. Br Med J 2005; 330: 1290-1294.
FCC-OET, 1997. Bulletin 65: Evaluating Compliance with FCC Guidelines for Human Exposure to Radiofrequency Electromagnetic Fields, EE.UU, 1997
Ferlay J. Soerjomataram I, Ervik M. et al. GLOBOCAN 2012 v1.0 Cancer Incidence and Mortality Worldwide: IARC Cancer Base No. 11 Lyon, France: International Agency for Research on Cancer; 2013.
Greenland S, Sheppard AR, Kaune WT, Poole C, Kelsh MA. A pooled analysis of magnetic fields, wire codes, and childhood leukemia. Childhood leukemia – EMF study group. Epidemiology 2000; 11: 624-634.
Hernández Bataller B, 2015. European Economic and Social Committee. Electromagnetic Hypersensitivity.(en línea) http://www.eesc.europa.eu
IARC, 2002. (International Agency for Research on Cancer). Non-Ionizing Radiation, Part 1: Static and extremely low-frequency (ELF) electric and magnetic fields. Vol. 80. Lyon, France. IARC Monogr Eval Carcinog Risks Hum, 80 1-395. PMID 1: 12071196
IARC, 2011. International Agency for Research on Cancer (IARC). Comunicado de prensa no. 208. 31 de Mayo del 2011.
(en línea) http://www.iarc.fr/en/media-centre/pr/2011/pdfs/pr208_E.pdf
http://www.peccem.org/DocumentacionDescarga/Legislacion/IARC.WHO_31.05.11_cast.pdf
ICNIRP, 2001. International Commission for Non-Ionizing Radiation Protection. Review of the epidemiologic literature on EMF and health; 2001.
ICNIRP, 2009. International commission on non-ionizing radiation protection. On the “Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (Up To 300 Ghz)”. Health Physics 2009; 97(3):257- 258
ICNIRP, 2010. Guidelines. (International Commission for Non-Ionizing Radiation Protection). For limiting exposure to time-varying electric and magnetic fields (1 Hz – 100 kHz). Health Physics 2010; 99: 818-836.
http://www.icnirp.org/cms/upload/publications/ICNIRPemfgdlesp.pdf

IEEE, 1992. Institute of Electrical and Electronic Engineers, Inc. Section 4.2 of "IEEE Standard for safety levels with respect to human exposure to radio frequency electromagnetic fields, 3 kHz to 300 GHz", ANSI/IEEE C95.1-1992, New York, NY 10017.
Koifman S. Electromagnetic fields: a cancer promoter? Med Hipotheses 1993; 41: 23-27.
Kundi M. 2012. Evidence for childhood cancers (Leukemia). In: Sage C, Carpenter DO, editors. The BioInitiative Report 2012. A Rationale for a Biologically-based Public Exposure Standard for Electromagnetic Fields (ELF and RF), http://www.bioinitiative.org/.
LFTyR, 2015-LEY FEDERAL DE TELECOMUNICACIONES Y RADIODIFUSIÓN, TEXTO VIGENTE a partir del 13-08-2014, Nueva Ley publicada en el Diario Oficial de la Federación el 14 de julio de 2014, la fracción V del artículo 118 de esta Ley, en vigor desde el 1 de enero de 2015.
LGEEPA, 2017.Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección Ambiental (LGEEPA), capítulo II artículo 5to. Fracción XV, ÚLTIMA REFORMA DOF 24-01-2017. Último acceso: Diciembre 2017. http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/148_240117.pdf
Lundquist, M. 2001. A fast tour of a Decade of Bioelectromagnetism Hygiene Research. Wireless Phone and Health II, 47-83.
McNally RJ, Parker L. Environmental factors and childhood acute leukemias and lymphomas. Leuk Lymphoma 2006; 47: 583-598.
Milham S, Ossiander EM. Historical evidence that residential electrification caused the emergence of the childhood leukemia peak. Med Hypotheses 2001; 56: 290-295.
NOM-STPS-013, 1993. Relativa a la Exposición Humana Ocupacional a Campos Electromagnéticos No Ionizantes. Acceder por:
http://asinom.stps.gob.mx:8145/upload/noms/Nom-013.pdf
NOM-048-SSA1, 1993. Norma Oficial Mexicana que establece el método de normalizado para la evaluación de riesgos a la salud como consecuencia de agentes ambientales http://www.salud.gob.mx/unidades/cdi/nom/048ssa13.html
NOM-126-SCT1-SSA1, 2012. ANTEPROYECTO de Norma Oficial Mexicana, Telecomunicaciones–Radiocomunicaciones–Medidas de operación para el cumplimiento de los límites de exposición máxima para seres humanos a radiaciones electromagnéticas de radiofrecuencia no ionizantes en el intervalo de 100 kHz a 300 GHz en el entorno de emisores de radiocomunicaciones.
http://guya.com.mx/guya/Documentos/DispLegales/2012/agosto/Comunicado_32_2012.pdf
REGLAMENTO ESTATAL DE ZONIFICACIÓN DE JALISCO, 2011 (en línea) https://www.zapopan.gob.mx/wp-content/uploads/2011/06/Reglamento-Estatal-de-Zonificaci%C3%B3n.pdf
Perez-Saldivar ML, Fajardo-Gutierrez AF, Bernaldez-Rios R, et al. Childhood acute leukemias are frequent in Mexico City: Descriptive Epidemiology. BMC Cancer 2011; 11:355. https://doi.org/10.1186/1471-2407-11-355
PAT-IFT, 2015. PLAN ANUAL DE TRABAJO DEL Instituto Federal de Telecomuniaciones 2015. http://cgpe.ift.org.mx/PAT2015/img/iftvf.pdf
Sarika S., Neeru K. Health Implications of Electromagnetic Fields, Mechanisms of Action, and Research Needs. Occupational Health Division, Defence Institute of Physiology & Allied Sciences. Volume 2014. https://dx.doi.org/10.1155/2014/198609
SEMARNAT-Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) Último acceso: diciembre 2017. http://www.gob.mx/semarnat
SCT, 2017. Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) ¿Qué es México conectado? Lineamientos. Último acceso: diciembre, 2017. (en línea) http://mexicoconectado.gob.mx/sobre_mexico_conectado.php?id=212
Soto-Sumuano JL, Tlacuilo-Parra JA, Garibaldi-Covarrubias R, Romo-Rubio H, Arriaga-Dávila J. Childhood Acute Leukemia and their association with the high voltage network in Guadalajara Mexico. Conference Paper Published Aug 2016 in 2016 Progress in Electromagnetic Research Symposium (PIERS). https://doi.org/10.1109/piers.2016.7735825
Soto-Sumuano JL, Olivera-Guerrero FJ, Tlacuilo-Parra JA, Garibaldi-Covarrubias R, Romo-Rubio H, Abundis-Gutiérrez E. Geographical Information System for Patients, Neoplasms and Associated. Chapter published 2017 in Lecture Notes in Computer Science on pages 284 to 298.
https://doi.org/10.1007/978-3-319-62407-5_20
SwissOrdNIR, 1999. Ordenanza sobre Protección de la Radiación No Ionizante del 23 de Diciembre de 1999. Acceder por: http://www.electric-fields.com/SwissOrdNIR.pdf
Tlacuilo-Parra A, Garibaldi-Covarrubias R, Romo-Rubio H, Soto-Sumuano L, Ruiz-Chavez C, Suarez-Arredondo M, Sanchez-Zubieta F, Gallegos-Castorena S. Geographical distribution and cluster detection of childhood acute leukemia in the metropolitan area of Guadalajara, Jalisco. Mexico. Rev Inv Clin 2017; 69; 159-165. https://doi.org/10.24875/ric.17002131
UE, 1957. Tratado de Roma de la Unión Europea.
http://www.europarl.europa.eu/about-parliament/es/in-the-past/the-parliament-and-the-treaties/treaty-of-rome
UKCCS (UK childhood cancer study investigators). Exposure to power-frequency magnetic fields and the risk of childhood cancer. Lancet 1999; 354: 1925-1931.

Estudio de la Radiación Electromagnética en Xochimilco, Ciudad de México.

Leonardo Soto-Sumuano[1], Fernando A. Álvarez[2], Juan Azorin[3] y Alfonso Esquivel[3]
(1) Departamento de Sistemas de Información CUCEA, Universidad de Guadalajara Zapopan-México
(2) Departamento el Hombres y su Ambiente, Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco, Calzada del hueso 1100, Col. Villa Quietud, Alcaldía Coyoacán, 04960 CDMX-México
(3) Departamento de Física, Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, Av. San Rafael Atlixco 186, Colonia Vicentina 09340 CDMX-México
E-mail: leonardo.lsoto@gmail.com; faao322@gmail.com; azorin@xanum.uam.mx; aesquiv@correo.xoc.uam.mx

Resumen

El presente artículo presenta un estudio que evalúa la contaminación por Radiación Electromagnética (REM) en Xochimilco, presenta las mediciones de la contaminación electromagnética de radiofrecuencias (RF) y de campos magnéticos (CM) durante un año (mayo 2017- abril 2018), midiendo la intensidad de las RF y de los CM cerca de escuelas, hospitales, negocios y casas habitación en dos localidades (una comercial y la otra habitacional). Los valores obtenidos de radiación no ionizante (RNI) fueron comparados con los niveles en los cuales se han reportado afectaciones a los sistemas biológicos tanto de humanos como animales; y se compararon con los límites establecidos por la normatividad nacional e internacional. Los valores registrados durante las mediciones se encuentran por debajo de los límites permisibles por la normatividad nacional e internacional, sin embargo, se encuentran por encima del umbral reportado para desencadenar afecciones a la salud. Los resultados de este trabajo, sugieren que los pobladores de Xochimilco están en riesgo potencial de desarrollar algunas de las afecciones vinculadas a la exposición crónica a la RNI, particularmente leucemia linfoblástica aguda que están asociados con torres de distribución eléctrica por arriba de los 0.3 µT y de torres de comunicación con valores menores a 10 $\mu W/m^2$, (Tlacuilo et al., 2017) asimismo un incremento en el número de casos de niños diagnosticados con trastornos por déficit de atención e hiperactividad (TDAH) (Thomas *et al*., 2010).

Palabras Clave: efectos biológicos, contaminación electromagnética, campo magnético, radiofrecuencia

Study of Electromagnetic Radiation in Xochimilco, Mexico City

Abstract

The objective of this study was to estimate electromagnetic pollution by radio frequency (RF) and magnetic field (CM) along one year, measuring the intensity near schools, hospitals, business establishments and homes in two zones (one commercial and the other residential) of Xochimilco, CDMX. The values obtained of non-ionizing radiation (RNI) in the environment were compared with the levels at which the biological systems of both humans and animals have been reported to be affected. Likewise, the values were compared with the limits established both nationally and internationally. The results of this work suggest that Xochimilco residents are at potential risk of developing some of the conditions associated with chronic exposure to NIR, particularly acute lymphoblastic leukemia that are associated with electrical distribution towers above 0.3 µT and of communication towers with values lower than 10 µW / m2, (Tlacuilo et al., 2017) also an increase in the number of cases of children diagnosed with attention deficit hyperactivity disorders (ADHD).

Keywords: biological effects, electrosmog, magnetic field, radiofrequency

INTRODUCCIÓN

Cada día estamos más expuestos a la contaminación electromagnética, en particular a radiaciones no ionizantes (RNI). Se considera contaminación electromagnética (electropolución o electrosmog) a todo tipo de señales irradiadas que pueden dañar a organismos vivos o pueden afectar procesos naturales importantes en un ecosistema (Cobzaru, 2015). Aunado a lo anterior, el rápido desarrollo de la tecnología electrónica y en telecomunicaciones ha llevado a cambios significativos en la exposición de la población en general a los campos electromagnéticos (CEM). Hoy en día la gente se expone continuamente a distintos tipos de campos electromagnéticos generados por teléfonos celulares, torres de comunicación, teléfonos y dispositivos inalámbricos, internet inalámbrico (Wi-Fi) y líneas de tensión (Mortazavi, 2015).

Esta situación es alarmante, dado que la exposición constante a las RNI, tanto a las radiofrecuencias (RF) como a las radiaciones de frecuencias extremadamente bajas (FEB), ha sido asociada a efectos adversos a la salud, entre ellos, trastornos del sistema inmune, arritmias, problemas vasculares, subfertilidad, trastornos depresivos, problemas de memoria, alteraciones del comportamiento, problemas de aprendizaje, producción de radicales libres, ruptura de ADN (Bayat *et al*., 2017; Chauhan *et al*., 2017; Da Silva *et al*., 2015; Kelfkens, 2017; Khurana *et al*., 2010; Paulraj & Behari, 2006). Así mismo, se ha reportado la relación entre exposición crónica a RF y subfertilidad (Forgács *et al*., 2006), tumores cerebrales (Persson *et al*., 1997; Salford *et al*., 2003) y otros tipos de cánceres (no cerebral) (Richter *et al*., 2000; Velizarov *et al*., 1999).

La Ciudad de México (CDMX) es una de las mega ciudades con mayor ritmo de crecimiento, acentuado en la zona sur, particularmente en Xochimilco (Wigle, 2010). El crecimiento urbano conlleva a un desarrollo de la infraestructura eléctrica y de telecomunicaciones, derivada de la demanda energética y de servicios de comunicación que aumenta significativamente cada año. Esta infraestructura se encuentra distribuida de manera ubicua en las zonas urbanas y es la principal fuente emisora de RNI de origen artificial (Khurana *et al*., 2010). Por lo que, el objetivo de este estudio fue evaluar la contaminación por RNI en dos localidades de Xochimilco, CDMX.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El área de estudio se ubica al sur de la Ciudad de México, al norponiente de la Delegación Xochimilco y comprende una fracción de la mancha urbana de dicha ciudad. Las mediciones se realizaron en dos zonas. La primera corresponde a una fracción del centro urbano de Xochimilco, y la segunda fue una zona habitacional de la colonia Ampliación Tepepan, específicamente sobre Avenida de las Torres, nombrada así porque la avenida es cruzada longitudinalmente por líneas de alta tensión y en cada extremo de la avenida se ubica una estación base de telecomunicaciones.

Mediciones

Se seleccionaron 19 puntos críticos, considerando así la infraestructura que presentan o por las actividades que se desarrollan cerca a éstos: escuelas, hospitales, locales comerciales y casas habitación; en los cuales se realizaron mediciones dos veces al mes durante un año, las mediciones se tomaron en horario matutino y vespertino, para comparar variaciones. Las mediciones se realizaron siguiendo los métodos sugeridos por la Agencia Internacional de Investigación del Cáncer (IARC, 2002, 2011), que consiste en tomar mediciones en los puntos donde el individuo pasa la mayor parte del tiempo tanto en casa como en el trabajo, tales como dormitorios, sala de estar, escritorio, etc. Todas las mediciones se realizaron dentro de los 400 m de cercanía a una o más torres de comunicación (**Fig. 1**). Para medir el campo eléctrico y magnético y las RF se utilizó un medidor Extech® EMF450, con intervalo de frecuencia de 50 a 60 Hz e intervalo de medición de campo magnético de 0.01 a 200 microteslas (µT); intervalo de 1 a 2000 volts por metro (V/m) para campo eléctrico; intervalo de frecuencia de 50 MHz a 3.5 GHz e intervalo de medición de 0.02 $\mu W/m^2$ a 554.6 mW/m^2 para radiofrecuencia. Los análisis llevados a cabo fueron prueba de normalidad Shapiro-Wilk, ANOVA no paramétrico Kruskal-Wallis y prueba de Dunn, utilizando R v 3.4.3 (R Development Core Team, 2014) con el paquete de dunn.test (Dinno, 2017).

RESULTADOS

Las mediciones de campo magnético en la zona centro de Xochimilco con los correspondientes sitios de muestreo se muestran en el **cuadro I**. El valor promedio máximo de campo magnético registrado en horario matutino fue de 6.38 µT en el mercado 1 (primera sección) y en vespertino 5.9 µT en el mercado 2 (segunda sección). No se detectaron emisiones de campo eléctrico en la zona centro de Xochimilco. Con respecto a

radiofrecuencias, los valores mínimos promedio (13.46 y 19.93 µW/m^2) se registraron en dos locales de negocios, mientras que los valores máximos promedio en una primaria (1016.03 µW/m^2) y en el Hospital Infantil (1316.03 µW/m^2) con el valor más alto.

Los sitios de muestreo y las mediciones de campo magnético en Ampliación Tepepan se muestran en el **cuadro II**. En horario matutino el valor mínimo promedio de campo magnético fue de 0.14 µT (Casa de Cultura) y máximo de 5.08 µT (área de juegos), mientras que en el horario vespertino en el área de juegos se registraron los valores promedio y máximos más altos (5.13 y 5.54 µT). Con respecto a campo eléctrico, solo en los aparatos de ejercicio y el área de juegos (sitios 1 y 6 respectivamente) se registraron valores moda de 2000 V/m, cuyo valor es el límite máximo del equipo utilizado. En el caso de las radiofrecuencias, el valor promedio (18.15 µW/m^2) se registró en una casa habitación, mientras que el valor máximo (111.35 µW/m^2) fue registrado en un negocio.

El análisis estadístico (prueba de Kruskal-Wallis) muestra que no hubo diferencia significativa entre las emisiones matutinas con respecto a las vespertinas, ni en el mismo sitio, ni entre ambos sitios, tampoco hubo diferencias significativas en general con respecto a las mediciones entre ambos, la zona centro de Xochimilco y Ampliación Tepepan ($p > 0.05$). Cabe mencionar que durante las mediciones se registraron pulsos de hasta 10000 µW/m^2 fuera de los puntos de muestreo, ya que el medidor se llevó encendido mientras se desplazaba de un punto de muestreo a otro.

DISCUSIÓN

Los valores generales promedio registrados de CM en la presente investigación fueron de 0.95 µT en la zona centro y 1.94 µT en la zona habitacional, estos son similares a los valores obtenidos en estudios similares en otras ciudades del mundo, por ejemplo, en Teherán, Irán (Zazouli *et al*., 2013). Los valores generales promedio de RF, fueron menores que los valores obtenidos en estudios similares: por ejemplo 19800 µW/m^2 en Minas Gerais, Brasil (Dode *et al*., 2011), o 7900 µW/m^2 en Grecia (Gotsis *et al*., 2008), pero fueron similares a los obtenidos en Łódź, Polonia, 1700 µW/m^2 (Bortkiewicz *et al*, 2012), Selbitz, Alemania 1200 µW/m^2 (Eger & Jahn, 2009), y Rimbach, Alemania 76.9 µW/m^2 (Buchner & Eger, 2011).

Respecto del campo magnético, la mayoría de los valores obtenidos en la zona habitacional, en horario matutino y vespertino, se encontraron por encima de los 0.3 µT, y esto cobra relevancia debido a que la exposición residencial infantil a intensidades superiores a ésta, se ha relacionada con el desarrollo de distintos tipos de leucemias agudas (LA) (Ferris *et al*., 2010; Kelfkens, 2017), particularmente de los tipos linfoblástica y mieloide (Tlacuilo-Parra *et al*., 2017). En cuatro de los cinco negocios donde se tomaron lecturas se obtuvieron valores superiores a 1 µT, intensidad a la cual se ha reportado que es suficiente para desencadenar trastornos de sueño (Dyche *et al*., 2012).

Por otro lado, Buchner y Eger (2011) reportan que las RF con intensidades muy próximas a los 100 µW/m^2 son suficientes para desencadenar alteraciones en la secreción de neurotransmisores asociados al estrés como la feniletilamina, adrenalina, noradrenalina y dopamina. Aunado a lo anterior, en casos más extremos se ha reportado la correlación entre la recepción a intensidades superiores a 1000 µW/m^2 y los casos de mortalidad por neoplasia (Dode *et al*., 2011).

Los resultados de este trabajo, sugieren que los pobladores de Xochimilco están en riesgo potencial de desarrollar algunas de las afecciones vinculadas a la exposición crónica a la RNI, particularmente problemas de comportamiento que están asociados con la cercanía de menos de 500 metros de las torres de comunicación, lo que podría estar asociado con la aparición de problemas emocionales, de conducta, de relacionamiento interpersonal, e incluso con el incremento en el número de casos de niños diagnosticados con trastornos por déficit de atención e hiperactividad (TDAH) (Thomas *et al*., 2010).

A pesar de que existen evidencias suficientes de los efectos biológicos de las RNI, sigue existiendo debate alrededor del tema. Aun cuando algunos países han tomado medidas precautorias al respecto para proteger al público de la RNI (Dhami, 2012)**,** los límites internacionales establecidos por la ICNIRP (**cuadro III**) siguen estando muy por encima del umbral asociado a efectos adversos (**cuadro IV**). Actualmente en México no existe normatividad respecto a los límites de exposición a la RNI para la población en general, aunque en la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA) menciona que son facultades de la Federación, los estados y municipios la regulación, prevención y control de las emisiones por radiaciones electromagnéticas (Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, 2012). Solamente se cuenta con la NOM-013-STPS-1993, que únicamente se aplica a la planeación, organización y funcionamiento de los centros de trabajo donde se generan radiaciones electromagnéticas no ionizantes (Farell, 1993).

CONCLUSIONES

Los valores de RNI obtenidos en las mediciones de campo son lo suficientemente altas como para desencadenar síntomas como: anomia, dificultad para concentrarse, problemas de memoria, aprendizaje y comportamiento, así como trastornos del sueño y alteraciones del sistema inmune; también se les relaciona con afecciones severas como la leucemia infantil aguda, a pesar de lo anterior, se encuentran por debajo de los límites permisibles por la ICNIRP, por lo cual se recomienda la aplicación de una norma legal exclusiva para México e independientemente de la normatividad internacional.

Dentro de la población existen grupos más vulnerables (niños y adolescentes), susceptibles a problemas específicos (problemas de comportamiento y leucemia infantil aguda) y es justo en las localidades donde se concentran estos grupos poblacionales en donde se encontraron los valores de exposición más altos (juegos, primarias, hospital infantil) por lo que hay que generar acciones para minimizar su exposición a las RNI.

Es necesario continuar las investigaciones concernientes a los efectos de las RNI en la salud, así como monitorear continuamente sus emisiones para evitar problemas de salud como el desarrollo de neoplasias o leucemia infantil aguda.

Finalmente, se recomienda aplicar el principio precautorio ante este problema de salud pública, considerando que existen otros problemas de contaminación de distintos orígenes que pueden interactuar sinérgicamente con las RNI en la generación de efectos adversos a la salud.



Figura 1. Polígono del área de estudio.

CUADRO I. VALORES PROMEDIO Y VALORES MÁXIMOS DE CAMPO MAGNÉTICO OBTENIDOS EN HORARIO MATUTINO Y VESPERTINO; Y VALORES DE RADIOFRECUENCIA REGISTRADOS EN LA ZONA CENTRO DE XOCHIMILCO. VER EL TEXTO PARA LA CORRESPONDENCIA DE SITIOS. (ND = NO DETECTADO).

Zona centro	Campo magnético (µT)				Radiofrecuencia ($\mu W/m^2$)	
Sitios	Día prom	Día max	Noche prom	Noche max	Promedio	Max
Mercado 1	2.90	6.38	2.10	4.99	21.1	34.5
Mercado 2	1.66	3.88	2.03	5.90	52.5	155.3
Centro de salud	0.11	0.22	ND	0.84	20.7	26.7
Negocio	0.68	0.86	0.31	1.10	19.9	28.0
Negocio	0.80	4.80	0.23	0.37	23.3	41.1
Negocio	1.20	2.92	1.80	5.10	129.3	254.9
Negocio	1.52	2.15	1.52	2.71	13.5	18.6
Secundaria	0.07	0.18	1.35	1.72	185.0	428.0
Primaria	0.05	0.10	0.26	0.62	1035.2	1962.0
Jardin de niños	0.02	0.03	0.02	0.05	200.2	427.6
Hospital infantil	0.04	0.13	ND	ND	1316.0	2050.0

CUADRO II. VALORES PROMEDIO Y VALORES MÁXIMOS DE CAMPO MAGNÉTICO DURANTE HORARIO MATUTINO Y VESPERTINO; Y VALORES DE RADIOFRECUENCIA EN LA ZONA HABITACIONAL AMPLIACIÓN TEPEPAN. VER EL TEXTO PARA LA CORRESPONDENCIA DE LOS SITIOS.

Zona habitacional	Campo magnético (µT)				Radiofrecuencia ($\mu W/m^2$)	
Sitios	Día prom	Día max	Noche prom	Noche max	Promedio	Max
Aparatos de ejercicio	3.60	4.36	4.33	5.02	31.4	42.7
Primaria	1.33	1.86	1.36	2.01	43.9	67.0
Casa de cultura	0.14	0.19	0.18	0.35	18.4	19.9
Centro de yoga	0.48	1.10	0.17	0.33	22.3	26.0
Casa habitación	1.65	2.37	1.36	1.91	18.2	49.9
Juegos	4.00	5.08	5.13	5.54	66.1	82.3
Negocio	2.64	3.40	2.46	2.91	63.2	111.4
Centro de salud	1.16	1.36	1.06	1.21	21.7	25.0

CUADRO III. LÍMITES DE EXPOSICIÓN A RNI NACIONALES E INTERNACIONALES

Límites de exposición a RNI de acuerdo con la ICNIRP y la NOM-013						
Laboral						
ICNIRP		México		ICNIRP		México
CE	CM	CE	CM	RF/MO		
25 Hz-300 Hz		-	-	400 MHz- 2000 MHz	2 GHz-300 GHz	-
(V/m)	(µT)	(V/m)	(µT)	(W/m^2)		
5000	1000	200	0.6	40	50	100
Población general						
ICNIRP		México		ICNIRP		México
CE	CM			RF/MO		
50 Hz-400Hz		-	-	400 MHz- 2000 MHz	2 GHz-300 GHz	-
(V/m)	(µT)			(W/m^2)		
2500	200	-	-	10	10	-

CUADRO IV. FRECUENCIAS Y VALORES UMBRAL DE RNI Y SUS EFECTOS ASOCIADOS.

Referencia	Frecuencia (GHz)	Intensidad (W/m^2)	Efectos
Paulraj & Behari, 2006	2.45	1 - 3	Ruptura de ADN
Chauhan *et al* , 2017	2.45	2	Producción de radicales libres (e.g. LPOs)
Bayat *et al* , 2017	0.9	0.9	Prolonga la duración de las infecciones
Lebedeva *et al* , 2000; Mohler *et al* , 2010	0.3 - 5	0.0001 - 0.3	Trastornos del sueño
Forgács *et al* , 2006	1.8	0.2	Reducción de la fertilidad
Persson *et al* , 1997; Salford *et al* , 2003	0.9 - 1.8	0.01 - 0.2	Tumores cerebrales
Velizarov *et al* , 1999; Richter *et al* , 2000	500 - 3	0.05 - 1	Cáncer (no cerebral)
Khurana *et al* , 2010	0.3 - 5	0.001	Arritmias, problemas vasculares
		($\mu W/m^2$)	
Thomas *et al* , 2010	0.9 - 2.4	100	Problemas de memoria, aprendizaje y comportamiento
Buchner & Eger, 2011	1.8	100	Trastornos Hormonales
Thomas *et al* , 2010; Hardell *et al* , 2016	0.9 - 1.8	1 - 6	Estrés oxidativo (e. g. ROS)
	(Hz)	**(µT)**	
Kelfkens & Pruppers, 2017	50 - 60	0.3	Leucemia aguda en niños menores de 15

REFERENCIAS

Bayat, M., Hemati, S. S.-E., R;, & Shahin-Jafari, A. (2017). Effect of long-term exposure of mice to 900 MHz GSM radiation on experimental cutaneous candidiasis. Saudi Journal of Biological Sciences, 24(2017), 907-914. doi: 10.1016/j.sjbs.2015.12.005

Bortkiewicz, A., Gadzicka, E., Szyjkowska, A., Politański, P., Mamrot, P., Szymczak, W., & Zmyślony, M. (2012). Subjective complaints of people living near mobile phone base stations in Poland. International Journal of Occupational Medicine and Environmental Health, 25(1), 31-40. doi: 10.2478/s13382-012-0007-9

Buchner, K., & Eger, H. (2011). Changes of clinically important neurotransmitters under the influence of modulated RF fields - A long term study under real-life conditions. Umwelt Medizin Gesellshaft, 24(1), 44-57.

Cobzaru, A. (2015). Electropollution in our urban environment. Urbanism. Arhitectură Construcţii, 6(2), 51-64.

Chauhan, P., Verma, H. N., Sisodia, R., & Kesari, K. K. (2017). Microwave radiation (2.45 GHz)-induced oxidative stress: Whole-body exposure effect on histopathology of Wistar rats. Electromagnetic Biology and Medicine, 36(1), 1-11. doi: 10.3109/15368378.2016.1144063

Da Silva, D. F. d., Barros, W. R., Almeida, M. d. C. C. d., & Rêgo, M. A. V. (2015). Exposição a radiações eletromagnéticas não ionizantes da telefonia celular e sintomas psiquiátricos. Cadernos de Saúde Pública, 31, 2110-2126. doi: 10.1590/0102-311X00104114

Dhami, A. K. (2012). Study of electromagnetic radiation pollution in an Indian city. Environ Monit Assess, 184(11), 6507-6512. doi: 10.1007/s10661-011-2436-5

Dinno, A. (2017). Dunn's test of multiple comparisons using rank sums (Version 1.3.5).

Dode, A. C., Leão, M. M. D., Tejo, F. A. F., Gomes, A. C. R., Dode, D. C., Dode, M. C., . . . Caiaffa, W. T. (2011). Mortality by neoplasia and cellular telephone base stations in the Belo Horizonte municipality, Minas Gerias state, Brazil. Science of the Total Environment, 409(2011), 3649-3665. doi: 10.1016/j.scitotenv.2011.05.051

Dyche, J., Anch, A. M., Fogler, K. A. J., Barnett, D. W., & Thomas, C. (2012). Effects of power frequency electromagnetic fields on melatonin and sleep in the rat. Emerging Health Threats, 5(1). doi: 10.3402/ehtj.v5i0.10904

Eger, H., Jahn, M. (2009). Specific health symptoms and cell phone radiation in Selbitz (Bavaria, Germany)-Evidence of a dose-response relationship. umwelt medizin gesellshaft, 23(2).

Farell, C. A. (1993). Norma Oficial Mexicana NOM-013-STPS-1993, relativa a las condiciones de seguridad e higiene en los centros de trabajo donde se generan radiaciones electromagnéticas no ionizantes. 1-17.

Ferris, T. J., Ortega, G. J. A., Soldin, O. P., Navarro, C. E. A., Garcia, C. J., & Fuster, S. J. L. (2010). Efectos en la salud pediátrica de la radiación electromagnética de frecuencias extremadamente bajas. Revista Española de Pediatría, 66(3), 151-161.

Forgács, Z., Somosy, Z., BKubinyi, G., Bakos, J., Hudák, A., Surján, A., & Thuróczy, G. (2006). Effect of whole-body 1800 MHz GSM-like microweave exposure on testicular steroidogenesis and histology in mice.
Reproductive Toxicology, 22(1), 111-117. doi: 10.1016/j.reprotox.2005.12.003

Gotsis, A., Papanikolaou, N., Komnakos, D., Yalofas, A., & Constantinou, P. (2008). Non-ionizing electromagnetic radiation monitorin in Greece. Annales of Telecommunications, 2008(63). doi: 10.1007/s12243-007-0006-1

Hardell, L., Koppel, T., Carlberg, M., Ahonen, M., & Hadendahl, L. (2016). Radiofrequency radiation at Stockholm Central Railway Station in Sweden and some medical aspects on public exposure to RF fields. International Journal of Oncology, 49(4), 1315-1324. doi: 10.3892/ijo.2016.3657

IARC. (2002). Non-Ionizing Radiation, Part 1: Static and Extremely Low-frequency (ELF) Electric and Magnetic Fields (Vol. 80). Lyon, France: Wolrd Health Organization, International Agecy For Research on Cancer.
IARC. (2011). Non-Ionizing Radiation, Part 2: Radiofrequency Electromagnetic Fields (Vol. 102). Lyon, France: World Health Organization, International Agency for Research on Cancer.
Kelfkens, G., Pruppers, M. (2017). Magnetic fields and childhood leukemia; science and policy in the Netherlands. European Medical and Biological Engineering Conference & Nordic-Baltic Conference on Biomedical Engineering and Medical Physics, 65, 498-501. doi: 10.1007/978-981-10-5122-7_125
Khurana, V. G., Hardell, L., Everaert, J., Bortkiewicz, A., Carlberg, M., & Ahonen, M. (2010). Epidemiological evidence for a health risk from mobile phone base stations. International Journal of Occupational and Environmental Health, 16(3), 263-267. doi: 10.1179/107735210799160192
Lebedeva, N. N., Sulimov, A. V., Sulimova, O. P., Kotrovskaya, T. I., & Gailus, T. (2000). Cellular phone electromagnetic fields effects on bioelectric activity of human brain. Critical Reviews in Biomedical Engineering, 28(1-2), 323-337.
Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente. (2012). Gaceta Ecológica, 54, 1-114. Consultado en: http://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/agenda/DOFsr/148.pdf
Mohler, E., Frei, P., Braun-Fahrländer, C., Fröhlich, J., Neubauer, G., & Röösli, M. (2010). Effects of everyday radiofrequency electromagnetic-field exposure on sleep quality: a cross-sectional study. Radiation Research, 174(3), 347-356. doi: 10.1667/RR2153.1
Mortazavi, S. M. J. R., S; Talebi, A; Soleimani, A; Rafati, A. (2015). Survey of the effects of exposure to 900 MHz radiofrequency radiation emitted by a GSM mobile phone on the pattern of muscle contractions in an animal model. Journal of Biomedical Physics & Engineering, 5(3), 121-132.
Paulraj, R., & Behari, J. (2006). Single strand DNA braks in rat brain cells exposed to microweave radiation. Mutation Research, 592(1), 76-80. doi: 10.1016/j.mrfmmm.2005.12.006
Persson, B. R. R., Salford, L. G., & Brun, A. (1997). Blood-brain barrier permeability in rats exposed to electromagnetic fields used in wireless communication. Wireless Networks, 3(6). doi: 10.1023/a:1019150510840
R Development Core Team. (2014). R: A language and environtment for statistical computing (Version 3.4.3). Vienna, Austria: R Fundation for statistical computing. Retrieved from https://www.r-project.org/
Richter, E., Berman, T., Ben-Michael, E., Laster, R., & Westin, J. B. (2000). Cancer in radar technicians exposed to radiofrequency/microwave radiation: sentinel episodes. International Journal of Occupational and Environmental Health, 6(3), 187-193. doi: 10.1179/oeh.2000.6.3.187
Salford, L. G., Brun, A. E., Eberhardt, J. L., Malmgren, L., & Persson, B. R. (2003). Nerve cell damage in mammalian brain after exposure to microwaves from GSM mobile phones. Environmental Health Perspectives, 111(7), 881-883. doi: 10.2307/3435159
Thomas, S., Heinrich, S., von Kries, R., & Radon, K. (2010). Exposure to radio-frequency electromagnetic fields and behavioral problems in Bavarian children and adolescents. European Journal of Epidemiology, 25(2), 135-141. doi: 10.1007/s10654-009-9408-x
Tlacuilo-Parra, A., Garibaldi-Covarrubias, R., Romo-Rubio, H., Soto-Sumuano, L., Ruiz-Chávez, C. F., Suárez-Arredondo, M., . . . Gallegos-Castorena, S. (2017). Geographical distribution and cluster detection of childhood leukemia in the metropolitan area of Guadalajara, Mexico. Revista de Investigación Clínica, 69(2017), 159-165.
Velizarov, S., Raskmark, P., & Kwee, S. (1999). The effects of radiofrequency fields on cell proliferation are non-thermal. Bioelectrochem Bioenerg, 48(1999), 177-180. doi: 10.1016/s0302-4598(98)00238-4
Wigle, J. (2010). The "Xochimilco model" for managing irregular settlements in concervation land in Mexico City. Cities, 27(2010), 337-347. doi: 10.1016/j.cities.2010.04.003
Zazouli, N. A., Monazzam, M. R., Yazdani, C. J., & Hosseinzadeh, F. (2013). Evaluation of extremely low-frequency magnetic field (ELF) at Tehran City. Journal of Mazandaran University of Medical Sciences, 22(2), 146-151.